

郭予元院士在小麦害虫预测和治理上的学术贡献

——纪念郭予元院士诞辰 90 周年

陈巨莲^{1#}, 武予清^{2#}, 张勇¹, 范佳¹, 谭晓玲¹,
曹雅忠¹, 苗进², 倪汉祥^{1*}

(1. 植物病虫害生物学国家重点实验室, 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193;
2. 河南省农业科学院植物保护研究所, 郑州 450002)

摘要 本文回顾了郭予元院士在小麦害虫预测和治理上的重要贡献, 主要包括: 在 20 世纪 70—90 年代, 创新了害虫生物学与生态学有机结合方法, 显著提升小麦害虫预测技术水平。从宏观到机理, 突破了多项小麦害虫治理关键技术, 包括小麦品种抗吸浆虫鉴定技术与抗吸浆虫机制, 创新性提出吸浆虫成虫期防治及穗期保护策略; 利用田间开放式控制虫量的办法建立小麦蚜虫防治阈值及复合防治指标; 麦田天敌资源的保护及利用。面向小麦生产实际, 创建小麦吸浆虫综合治理技术体系。吸浆虫穗期保护策略和技术、蚜虫防治指标与防治适期等研究成果一直传承至今, 列入我国农业行业标准和国家标准。本文还介绍了在后续小麦吸浆虫、蚜虫预测与防控研究与实践中, 传承与发展郭予元院士的学术思想, 以及未来研究展望。

关键词 郭予元; 吸浆虫; 小麦蚜虫; 发生期和程度预测; 小麦穗期保护; 复合防治指标

中图分类号: S 435.12 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022672

Contribution of Academician Guo Yuyuan in the prediction and management of wheat insect pests

——To commemorate the 90th anniversary of the birth of Academician Guo Yuyuan

CHEN Julian^{1#}, WU Yuqing^{2#}, ZHANG Yong¹, FAN Jia¹, TAN Xiaoling¹,
CAO Yazhong¹, MIAO Jin², NI Hanxiang^{1*}

(1. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China*; 2. *Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*)

Abstract This paper reviews the important contribution of Academician Guo Yuyuan in the prediction and management of wheat insect pests. During 1970s–1990s, he innovated the method by close combination of pest biology and ecology, and significantly improved the level of wheat pest forecast technology. From wheat field investigation to laboratory mechanism, the key technologies of wheat pests control were developed, including pest resistant identification technology and mechanism for wheat varieties to wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*, innovative strategies for adult control and ear protection against *S. mosellana*, establishment of control threshold and comprehensive control index in the natural ecosystem, protection and utilization of natural enemy resources in wheat field. Facing the related wheat cultivation areas, established a comprehensive control technology system for *S. mosellana* management. Academician Guo's research results of the strategy and technology of the protection spike stage against wheat midge adult, and wheat aphid control index and the control suitable period have been inherited up to now, and listed in China's agricultural industry standards and national standards. This paper also introduces the

收稿日期: 2022-10-28 修订日期: 2022-11-04

基金项目: 国家自然科学基金(31871979, 31901881, 31801739, 32172415); 财政部和农业农村部: 国家现代农业小麦产业技术体系(CARS-03)

* 通信作者 E-mail: hxni@ippcaas.cn

为同等贡献者

inheritance and improvement of Academician Guo in the follow-up research on the prediction, prevention and control of wheat midges and aphids. In the end, further research on wheat major insect pests in the future is prospected.

Key words Guo Yuyuan; wheat midge; wheat aphid; forecast of pest occurrence degree; wheat spike stage protection; comprehensive control index

郭予元院士在 20 世纪 70—90 年代(1978 年—1990 年)一直从事小麦害虫预测和治理研究及指导生产防治工作。他瞄准小麦生产区域主要害虫,将害虫生物学与生态学有机结合,特别是凭借他在植保数理统计方面的出色能力,将宏观调查与微观机理相衔接,先后在麦类毁灭性害虫小麦吸浆虫、麦种蝇 *Delia coarctata* (Fallén)、黏虫 *Mythimna separata* Walker、小麦蚜虫预测和防控关键技术,综合治理理论与策略等方面做出了显著成绩。郭予元院士在小麦害虫预测和治理上的学术贡献,不仅是 20 世纪小麦害虫防控上的重要突破,而且对现阶段小麦害虫预测与防控工作仍具有指导作用。

1 郭予元院士在小麦害虫预测和治理上的重要贡献

20 世纪 70 年代,郭予元院士在宁夏工作期间,针对 1977 年麦种蝇在我国西北严重发生,造成冬小麦返青后死苗达 30%~50%,出现“斑秃”状缺苗现象,从 1978 年开始,对麦种蝇的形态特征、为害与分布、寄主范围、生活史及其习性、幼虫的田间分布型、为害造成的经济损失率、生命表等开展系列研究,提出以麦苗被害率 15%为防治阈限,筛选了防治方法,并组织了大面积的防治成虫示范^[1-3],为麦种蝇有效防控奠定了坚实基础,对提高甘、宁两省(区)冬小麦产量起到重要作用。

20 世纪 70—80 年代,江淮流域麦区常遭一代黏虫为害。为了解一代黏虫自然种群消长情况及影响因子,为黏虫异地测报和当地综合防治提供科学依据,从 1980 年开始,郭院士率领攻关团队在河南南阳“七五”国家科技攻关示范区制作麦田黏虫自然种群生命表,建立逐步回归分析预测模型,分析影响麦田黏虫种群的关键因子。开展麦田主要害虫及天敌群落的排序、麦田主要天敌对一代黏虫捕食功能的研究,提出益害关系与小麦抗虫品种的关联性,首次将麦田天敌控害效果,从经验方法上升为以益害比作为定量评价指标,并制定出黏虫种群数量的最优预测模型^[4-8]。这些研究结果为组建麦田一代黏虫测报专家系统,以及麦田黏虫综合防治提供了

重要的定量可操作的方法。

20 世纪 80 年代,在示范区发现小麦蚜虫为害越来越重,常常混合发生,郭院士利用他在昆虫生物学、生态学和田间设计与生物统计方面综合能力强的优势,开展了麦蚜自然种群生命表、田间种群动态^[9-11]、麦蚜混合种群对小麦穗期的危害和动态防治指标^[12]、麦田两种麦蚜、主要天敌的生态位测定及天敌对麦蚜控制能力^[13-14]、冬小麦品种抗蚜性田间鉴定^[15]等系列研究,显著提升了麦蚜的测报技术及治理关键技术。

小麦吸浆虫是小麦上的毁灭性害虫,我国以麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* Gehin 为害为主。该虫是《农业发展纲要》限期消灭的重大病虫害之一,20 世纪在我国发生严重,到 20 世纪 60 年代初已基本得到控制,但到 1985 年又严重回升,再度猖獗、暴发成灾。郭予元院士率领研究团队,深入揭示了吸浆虫在 20 世纪 80 年代严重回升的成因^[16],创新了田间调查取样技术,提高了吸浆虫预测预报技术和小麦品种对吸浆虫抗性鉴定技术^[17]、明确了小麦品种对吸浆虫的抗性机制^[18-22]、鉴定出一批抗吸浆虫的小麦种质资源;在药剂防治方面,研究确定了防治时期及防治指标、改土壤药剂处理为成虫期防治、筛选出高效杀虫药剂,使示范区药剂用量平均减少 91.25%,成虫期防治效果达 90%~95%;在天敌保护利用方面,系统地查明了小麦吸浆虫的优势种天敌种类及其主要生物学特性,提出了一整套有效保护利用天敌,充分发挥自然控制因素的技术规范;构建了吸浆虫宏观控制策略,创建小麦吸浆虫综合治理技术体系^[23-25]。经 10 余年的系统研究及生产实践应用,取得突破性成果“小麦红吸浆虫种群动态规律及其综合治理技术体系”,于 1998 年获国家科技进步奖三等奖^[26-27]。

现将郭予元院士在小麦主要害虫研究与防控的重要学术贡献总结如下。

1.1 创新了生物学与生态学有机结合方法,显著提升了小麦害虫预测技术水平

郭予元院士在农业昆虫学、生态学方面具有非常扎实的专业功底,同时在数理统计与分析方面具

有很深的研究造诣。他指出为了保证小麦病虫害综合防控措施的正确贯彻实施,首先必须掌握病虫害在时间和空间上的数量变化情况。这就应该深入实际,用科学的方法收集数据,对情况做出客观分析;并在综合各有关因子作用的基础上准确判断病虫害未来的动态趋势,即认真进行病虫害的调查和预测预报工作^[28]。

1.1.1 应用科学方法,准确掌握害虫时空动态

在“七五”“八五”国家科技攻关确定小麦吸浆虫、麦蚜和黏虫为主要防治对象的基础上,改进调查采样方法,精准摸清害虫虫口密度与分布型;了解其发育进度,以确定最佳防治时机;利用害虫自然种群生命表,明确影响种群动态的关键因子;在小麦害虫发生程度及发生期预测技术等方面均取得突破性成果,显著提升了小麦害虫预测技术水平。

1.1.1.1 改进调查采样方法,精准摸清吸浆虫虫口密度与分布型

组织开展虫口密度与分布型的深入研究。通过研究吸浆虫在土壤中的分布型,发现麦红吸浆虫幼虫在土壤中以及麦穗上主要呈二项分布。为了精准摸清该害虫在土壤中的基数,他指导研究组成员,改进调查采样方法,在国内外首次提出了采用等距抽样技术调查吸浆虫在土壤中的虫口密度^[17],即选取有代表性的麦田 2~3 块,在每块田一次性等距取 7 个样方的土,混合均匀后,从中取 1/7 的土样进行淘土查虫,得到代表全田土内平均虫口密度的估计值。为了使农民技术员易掌握,还编制了“半距开头,整距在后,本行不够,下行来补”的调查口诀。该方法比以往随机取样和五点取样等方法,操作方便,省工、省时,准确性高,深受广大测报人员和农民技术员的欢迎。

1.1.1.2 构建害虫自然种群生命表,明确影响麦蚜、黏虫种群动态关键因子

昆虫生命表是昆虫种群动态研究的重要手段,但在蚜虫研究方面进展缓慢。而实验种群的结果不能全面反映自然因素(如天气、天敌影响及蚜虫种间干扰等)的作用和变化。因此,自然种群生命表的研究甚为重要。但麦蚜生活周期短、世代重叠严重,且几种麦蚜混合发生;在自然开放条件下,供试蚜虫和田间蚜虫扩散及迁飞引起混杂等问题,均给试验设计和田间观测增加许多困难。这可能是当时麦蚜自然种群特定年龄生命表研究未见报道的原因。1986 年—1987 年,采用分代隔离观测等方法克服世代重

叠和有翅蚜迁飞的干扰,研究建立了麦长管蚜 *Sitobion avenae* Fabricius(其正确名称为荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi* Takahashi^[29])自然种群特定年龄生命表,共获得 9 个世代的数据。明确影响该蚜自然种群波动的主要因素是天气条件和天敌;低龄若蚜主要受风雨影响,一次大风雨可使其密度下降 30%~80%,高龄若蚜和成蚜则受天敌和风雨共同作用;捕食性天敌对麦田 4 种蚜虫无选择偏好,而蚜茧蜂对 4 种麦蚜存在选择偏好性,主要寄生麦长管蚜和麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* Rondani^[9]。通过自然种群生命表,结合种群结构的系统调查,各世代的田间生殖力,厘清了该蚜整个发育阶段种群结构及动态机制,分析影响种群动态的关键因子,为麦蚜预测奠定了坚实基础。

在 20 世纪 80 年代,江淮流域是一代黏虫的常发区,该虫主要为害小麦。为了解小麦上一代黏虫自然种群消长情况及其主要影响因素,为黏虫的异地测报和当地的综合防治提供科学依据,郭院士率领攻关团队分别于 1980 年—1983 年在河南南阳^[4]、1986 年—1990 年河南漯河^[6]制作麦田黏虫自然种群生命表,对麦田黏虫自然种群的消长过程进行追踪调查,并采用欧氏距离法,选出影响年度间种群波动的关键因子。纵观麦田一代黏虫世代生命过程,气候因素为影响其种群数量变动的关键因子,极端的高温干燥天气直接影响黏虫的生长发育使死亡率增高,而低温多雨又利于中华卵索线虫 *Ovomeris sinensis* 的寄生,使 4 龄以后幼虫的寄生死亡率增加。风雨还可造成初孵幼虫的大量死亡。天敌的捕食对黏虫种群也有一定控制作用。

1.1.1.3 掌握吸浆虫发育进度,以确定最佳防治时机

郭予元院士带领研究团队,在明确了影响吸浆虫种群变动关键因子的基础上,结合田间普查和发育进度调查,特别关注成虫发生期预测:利用积温法,明确了越冬或滞育幼虫破茧起始温度为(9.8±1.1)℃,从幼虫破茧活化到成虫羽化有效积温为 216 日·度。化蛹起始土温 12℃,羽化起始土温为 15℃。由此,可根据当地当时及历年温度情况,预测化蛹及成虫羽化期,确定防治适期^[28]。同时率先明确提出决定吸浆虫发生程度的主要因素是在小麦抽穗至扬花这一敏感期的成虫数量,而不是整个种群密度。

1.1.1.4 检查吸浆虫对田间麦穗为害情况,评估防治效果,预测未来发生程度

在小麦吸浆虫的发育进度调查方面,针对以往在黄昏前利用捕虫网查虫或用扒麦法检查田间成虫数,但检查时存在可比性差,单位面积虫数不详的问题,因而改用笼罩法和膜罩定量查虫,准确调查吸浆虫成虫与寄生蜂。通过调查麦穗被害情况,评估防治效果,并预测未来发生程度。麦穗被害调查一般在小麦扬花后 10 d 至幼虫离穗前进行。选择有代表性的 3~5 块麦田,按照棋盘式 10 点取样,每点随机取中层 5 穗,置于袋中,带回室内当天逐穗逐粒剥查,记录穗、粒被害率及每穗幼虫数,估计损失率^[28]。

1.1.2 建立小麦害虫发生程度预测技术

1.1.2.1 小麦吸浆虫发生程度预测

根据出土化蛹、羽化与主要环境条件的关系,在国内外首次提出了以扬花前半个月的雨量、雨日和风日为主要因子的吸浆虫发生程度的测报技术,组建了吸浆虫发生初盛期的预测模型,使测报的准确率提高到 80% 以上。通过分析河南省南阳县自 20 世纪 80 年代中期以来的历史资料,证明吸浆虫为害轻重与小麦扬花前半月(吸浆虫蛹期到有效成虫期)内的雨量、雨日、特别与降雨系数(雨量×雨日)^{1/2} 呈显著正相关;与扬花前 10 d 的大风日呈负相关,组建了适用于黄淮海麦区可准确预测吸浆虫为害级别的两个预测式^[26]。通过研究吸浆虫老熟幼虫在土壤中结茧越冬、打破滞育、化蛹、羽化与主要环境条件的关系,明确了气象因素,尤其是 1、2 月份气温以及上年 7、8 月份和当年 1、2 月份的降水量与吸浆虫种群发生程度的关系最密切。这 6 个因素分属于一年中最热和最冷的月份。总的趋势是雨水多、气温低,有利于吸浆虫的发生。据此建立判别函数模型,进行吸浆虫发生适合度的预测,对中等发生、严重发生的预测准确性分别达到 85% 和 100%^[27]。对于指导大田防治具有重要参考价值。

1.1.2.2 一代黏虫发生程度预测

采用多元回归预测式预测黏虫幼虫密度,4 个预报因子分别为:每台诱蛾器最多连续 10 d 诱蛾量,百束小谷草把累计落卵块量,4 月中旬降水量和 4 月中旬雨日。经过通径分析,4 个预报因子对于预测幼虫密度具有不同程度的重要性,其中百束小谷草把累计落卵块量最重要。由此得出能准确预测一代黏虫幼虫密度的回归方程式^[29]。

1.1.2.3 小麦蚜虫发生程度预测

郭予元院士亲自设计试验开展麦蚜混合种群对小麦穗期的为害和动态防治指标研究^[12],在指导麦蚜发生程度的中、短期预报方面发挥了作用。在以麦长管蚜为优势种的麦区,较为重要的中期预报是在拔节期预测扬花期的发生量,因为拔节期是麦长管蚜种群密度的上升期,扬花后进入高峰期;因而扬花至灌浆中期是小麦受麦蚜为害损失最重的关键时期。主要预测依据是拔节期的蚜虫密度、天敌种类与数量、正常的气温、中大风雨的有无。他指导团队成员在河南郑州基地开展短期预报(10~20 d 的预报),主要预测发生量和防治适期,预报依据主要是蚜虫变动系数、天敌与麦蚜的益害比及特殊天气等资料。在小麦抽穗到灌浆初期的 10~15 d,麦长管蚜单茎蚜量随时间呈直线增长,据此,建立预测模型可对麦蚜发生程度进行短期预测^[28]。

1.2 从宏观到机理,解析突破多项小麦害虫治理关键技术

1.2.1 小麦品种抗吸浆虫鉴定技术与抗吸浆虫机制及遗传研究

1.2.1.1 小麦品种对吸浆虫抗性鉴定技术研究

由于吸浆虫具有长期滞育,隔年或多年羽化以及选择性产卵的独特生物学特性,人工饲养有难度,因而品种抗虫鉴定工作都必须在鉴定圃中进行。过去抗性鉴定标准都沿用吸浆虫直接为害程度分级的方法。其最大缺点是抗性鉴定结果不稳定,如在吸浆虫轻发生年被鉴定为抗虫品种,到了重发生年有可能被鉴定为感虫品种。为了解决这一问题,郭予元院士在国内外首次提出了用相对定级标准鉴定小麦品种对吸浆虫的抗性^[19]。从吸浆虫的生物学特性出发,结合多年的品种抗性鉴定工作,设计出一套比较完整的品种抗性鉴定及抗源筛选方法^[15],其主要内容包括田间地块的选择,调查内容和方法,抗性级别的计算及抗性类型的划分。运用此方法鉴定小麦品种材料对吸浆虫的抗性,划分抗性级别,不但年度间及不同地区间的鉴定结果可比性显著增加,而且还可以区分抗性类型,也为抗性机制研究和培育抗虫品种奠定了良好的基础。经过近 10 年对 2 500 余份品种材料的抗吸浆虫鉴定,已筛选出‘4154’‘179’‘4188’‘河农矮 3’‘河农 215’‘河农 972’‘河农 326’‘冀麦 23’‘冀麦 24’‘冀麦 25’‘郑太育 1 号’‘洛阳 851’‘陕 148-1’‘陕 229’‘陕麦 897’等 100 多份抗

性表现稳定(不同年间稳定,不同地区稳定)的品种及抗源,有 10 多个品种已通过审定,并已在生产上应用。通过与有关部门配合已累计推广 330 多万 hm^2 次,在吸浆虫发生严重的地区,发挥了重要的抗害增产作用。

1.2.1.2 品种抗吸浆虫机制及遗传研究

郭予元院士指导研究人员,通过田间试验、室内生化测定及组织学切片,研究了 85 个品种(系)对吸浆虫的抗性机制。采用通径分析、主成分分析、逐步回归、多元回归等方法,分析了构成抗性的各种可能因子及其作用强度,明确了小麦品种对吸浆虫的抗性是一个多层次、综合性的抗性,从其产卵到最终造成危害的 3 个阶段中,每个阶段都有可以抑制其为害的抗性因子,从而使品种表现出不同程度的抗性^[20-22]。结合吸浆虫的为害行为,将对抗性有显著作用的抗性因子分为以下 4 类,第一类:与无选择性机制有关的因子,主要包括品种的抽穗期、第二对麦芒长度、麦芒与穗轴的夹角、敏感期的长短。这类因子主要影响吸浆虫的产卵行为。第二类:与机械抗虫有关的因子,主要包括内颖与外颖的长度差、内颖缘毛密度及粗壮程度,小穗的宽度及小穗与穗轴的夹角,这类因子主要影响吸浆虫卵的孵化及初孵幼虫的侵入。第三类:与抗性有关的因子,主要包括早期籽粒内单宁和氨基酸的含量。这类因子主要影响侵入的幼虫存活、取食和发育。第四类:与耐害性有关的因子,主要包括品种的灌浆速度及扬花 10 d 后千粒重与成熟时千粒重之比。这类因子主要是靠品种本身的灌浆特性减少为害损失。在此基础上,组建了依靠麦穗形态特征及其主要生化指标的抗性判别模型,使得抗虫鉴定摆脱了单纯依靠自然虫源的诸多弊端,并可使抗虫鉴定在更大规模基础上开展^[21]。在基本明确抗性机制的基础上,通过籽粒同工酶和可溶性蛋白电泳及籽粒中生化物质含量的测定分析,探讨了 37 个不同抗性的冬小麦品种对吸浆虫的生化抗性机制。生化抗性构成因子的主成分分析表明,总酚、单宁、还原糖和类黄酮是小麦对吸浆虫的生化抗性因子,它们在灌浆初期的抗虫作用较强,其中总酚、单宁和还原糖是影响生化抗性的关键因子,总酚最为重要,类黄酮为次要因子,可溶性糖与品种抗虫性关系不明显。研究结果还表明小麦对吸浆虫的为害具有诱导抗性,总酚和还原糖是小麦的诱导抗虫物质。吸浆虫取食为害可诱导总酚含量

的增加,且有随抗性级别增加而增加的趋势;还原糖被诱导后,其在抗虫品种中的含量显著降低,而感虫品种含量则升高,单宁与小麦的诱导抗虫性无关。可溶性蛋白的 SDS-PAGE 结果表明,抗虫品种受害后,蛋白质的组成发生了变化,出现了一条分子量为 39.2 kD 的蛋白带,可能与品种诱导抗虫性有关^[22,30]。

1.2.1.3 抗性遗传研究

选用协作组内已筛选鉴定出的 12 个抗性表现稳定的小麦品种材料,于 1994 年、1995 年在大田进行了与感虫品种‘遗 4133’‘遗 4023’等多对杂交组合。1995 年、1996 年分别对其 F_1 代和 F_2 杂种在抗虫圃进行了抗虫鉴定。 F_1 代抗虫性鉴定结果表明,‘遗 4154’‘翼麦 24’‘84(251)-3-22-1’‘西农 6028’的 F_1 代均表现为抗虫,表明这些品种的抗虫性状受显性基因控制。 F_2 代抗虫性鉴定结果表明,抗性变异幅度较大,从变异程度来看,抗虫性状可能由 2 对及以上的基因所控制。研究结果为小麦抗吸浆虫遗传育种提供了参考^[27]。

1.2.2 化学防治技术研究

1.2.2.1 改变施药策略,高效控制小麦吸浆虫的为害

小麦吸浆虫是黄淮海麦区和西北麦区的重要害虫,自 20 世纪 80 年代初为害再次上升以来,迅速向周围蔓延形成许多新发生区,使小麦严重减产,有的田块甚至绝收。虽然各地进行大面积土壤施药压低土内虫口,仍不能控制它的为害和蔓延。郭予元院士在 1986 年—1990 年承担国家科技攻关项目“河南南阳小麦吸浆虫综合防治与示范”研究任务时,经过深入观察研究,发现土壤施药虽然杀死了土内大量吸浆虫,但前茬是小麦当年种其他作物的田块和麦田套作其他作物的行间都没有施药,从这些地里羽化飞出大量吸浆虫成虫,它们不仅可以在施药麦田的麦穗上产卵为害,而且可以随意向无吸浆虫发生区的麦田蔓延。据此,他提出控制吸浆虫的策略必须将土内杀虫为目标改为以保护麦穗为目标,经多次试验,制定了在小麦抽穗 70% (包括从叶鞘中暂露麦穗,俗称露脸的穗子) 时用长效杀虫剂一次性喷洒的技术措施。郭予元院士与合作者创新性提出以小麦抽穗 70%~80% 作为成虫期防治的适期。同时,改药剂土壤处理为成虫期防治。分别在南阳县和修武县两个示范区(各 1 333.33 hm^2) 实施成虫期防治,不仅杀死了大量成虫,防治效果达 95% 以上,而且在 3 年内将土壤中吸浆虫虫口密度由每小

方(0.56 m³)100余头控制在防治指标以下(每小方低于5头幼虫,不会造成明显损失),并且节约了大量防治成本^[31-32]。

1.2.2.2 小麦蚜虫防治阈值及复合防治指标的建立

麦蚜是小麦的重要害虫之一,通常多种同时混合发生,对小麦产量的影响主要是穗期使粒重降低而减产。国内外研究麦蚜对小麦产量的危害和防治指标,多采用小面积(1 m²)罩笼套袋接单种蚜虫。这类方法对麦蚜发育繁殖和小麦籽粒发育都有影响;接单种蚜虫丢失其他种蚜虫的作用信息。且罩笼小区面积过小,处理得到的结果与实际情况往往有出入。为了使试验结果尽可能接近实际情况,1986年采取小区扩大和开放式控制虫量的办法,在河南省农业科学院郑州试验场,根据麦蚜混合种群对小麦产量的危害,研究确定动态防治指标。在小麦穗期,对田间自然虫源加以人工控制培养,形成虫量梯度以研究麦蚜混合种样对小麦产量的影响。研究表明,在4种蚜虫(麦长管蚜、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* L.、麦二叉蚜和麦无网长管蚜 *Metopolophium dirhodum* Walker)中,麦长管蚜和禾谷缢管蚜对产量有明显影响,两者对产量无明显交互作用。得到了复合蚜量动态防治指标的二元一次式,并推算出扬花初期麦长管蚜单独存在时的防治指标为4.4头/茎,禾谷缢管蚜单独存在时的防治指标为38.9头/茎^[12]。进一步通过对减产率与蚜量的相关分析,根据经济损失允许水平和保护天敌的需要,提出防治适期为灌浆初期,小麦蚜虫化学防治指标为百株蚜量以麦长管蚜为主达到500头以上,以禾谷缢管蚜为主达到4000头^[28,33]。此外,还开展小麦上黏虫、麦蚜和白粉病等病虫害复合危害条件下小麦产量损失与复合防治指标的研究,探讨建立了农作物病虫害复合经济阈值及其研究方法^[34],这对麦田病虫害化学防治具有重要的实际意义。

1.2.3 麦田天敌资源及保护利用

害虫天敌包括捕食性天敌、寄生性天敌和害虫病原微生物,它们在农业生态系统中起着调控害虫种群数量的作用,是生态平衡的负反馈环节。保护利用自然天敌昆虫是生物防治发展的一个重要方向。麦田可以说是各种作物害虫的天敌资源库,保护利用天敌具有重要意义^[28]。在国家“七五”攻关以来,郭予元院士指导研究人员开展麦田害虫天敌资源调查,已定名的天敌有218种,并对麦田益害生

物群落与防治策略进行深入研究,还结合室内天敌捕食功能测定,利用Lotka-Volterra方程对1986年天敌和黏虫田间系统调查结果进行拟合,得到天敌与害虫动态关系模型,计算出黏虫和天敌的平衡点,预测害虫种群变化趋势。当麦田害虫与天敌的数量比(益害比)大于平衡点的益害比时,害虫种群数量会逐渐下降;反之,害虫种群数量就会上升。在麦田天敌的保护利用方面,实行“两查三定”。“两查”是查麦田害虫与益虫的发育进度及益害比,“三定”即根据田间益害虫发育进度及数量、作物状况、气候条件等定防治适期、定防治地块、定防治措施。通过“两查三定”,掌握害虫的防治指标和天敌利用指标。在黏虫、麦蚜防治中,通过放宽防治指标,充分发挥天敌的控害作用,以减少施药次数,压低化防面积^[28]。为麦田天敌保护利用及生物防治技术由定性的经验描述到定量评价模式的转变奠定了良好基础。

1.3 面向小麦生产实际,创建小麦吸浆虫综合治理技术体系

1.3.1 吸浆虫宏观控制策略研究

郭予元院士率领研究团队,通过对黄淮海主产麦区小麦吸浆虫的系统调查,分析了该虫自1985年严重回升以来十年的发生特点是:重发生区由于连续防治虫口数量显著下降;轻发生区虫量则呈上升趋势,为害加重;新发生区不断出现,面积不断扩大。这十年来的发生特点表明,小麦吸浆虫由于其隐蔽性为害的特点,在轻发生情况下,不易被发现引起人们的重视;但在造成严重为害情况下只要连续几年认真抓好综合防治就可以达到基本控制其为害的目的。在控制为害后,长期系统监测则是防止其再猖獗为害的重要保证。

根据系统调查的数据,结合历史资料,分析了造成1985年以来吸浆虫严重回升的主要原因是:20世纪80年代以来联产承包责任制的实行以及高产田的开发,复种指数大幅度提高,麦收后无法翻耕,田间湿度增加,地温明显降低,10 cm处最高地温,夏玉米地为33.35℃,夏大豆地为33.9℃,套种棉田为34.45℃,为吸浆虫幼虫越夏提供了良好的生态条件,从而导致越夏死亡率由过去的50%~90%降至5.1%~8.0%。过去越夏死亡率高的主要原因是吸浆虫结茧幼虫耐热性很差,暴露于地表温度55℃超过3 min,52.5℃超过7 min,47.5℃超过26~37 min,死亡率可达100%。同时实行联产承包责

任制后,大面积麦田成小块种植,小麦品种及播种期均不一致,使得小麦抽穗期不整齐,延长约 10 d 左右,从而增加了小麦对吸浆虫敏感期的总长度;再加上近年来推广种植的品种大多为感虫品种,在感虫品种上吸浆虫增殖倍数是高抗品种的 24.8 倍,这些因素导致整个大田虫口逐渐累积。另外,吸浆虫天敌数量显著减少,有机氯农药禁用后,土壤处理所用药剂因持效期短,对吸浆虫防治效果差,这也是导致吸浆虫回升及猖獗为害的主要原因。据文献记载,20 世纪 50 年代后期河南省南阳县吸浆虫被寄生性天敌自然寄生率可达 50%~60%;陕西省吸浆虫与寄生蜂的比例为 1:2.12;而 20 世纪 80 年代末期南阳县吸浆虫的天敌自然寄生率仅为 0.14%,陕西省农业科学院植物保护研究所调查结果表明,1980 年以来,除个别田块寄生率达到 60%外,大部分田块的寄生率为 0~25.65%,显著低于 50 年代末期。

在分析了吸浆虫暴发为害的特点及回升原因之后,根据小麦吸浆虫的生物学特性和发生为害规律,提出了必须实行以抗虫品种与栽培技术为基本措施的综合治理策略。但在当时发生为害严重且又缺少抗虫良种的地区,除加快鉴定、选育抗虫品种外,应以化学防治为重点,结合保护利用天敌,将长远与当前、药剂防治与农业、生物防治措施有机结合起来,控制其为害与发展。化学防治提倡成虫期防治,以小麦是否抽穗为标准,而不是以虫口消长为主要依据,并应选择对天敌杀伤力小的药剂进行防治。

1.3.2 组建综合治理技术体系

在深入开展上述研究的同时,针对我国小麦吸浆虫发生为害的实际情况,郭予元院士指导科技攻关课题组在河南豫南、豫北和陕西关中等地建立试验示范基地,以小麦高产、优质、高效为中心,经济、社会和生态效益的综合效应为目标,因地制宜地应用各项研究成果组建了以加强监测预测为前提,以应用抗虫品种与强化栽培技术为基础,化学防治为重点,结合保护利用自然天敌的综合治理技术体系。该体系在小麦吸浆虫的主要发生区,推广面积达 100 多万 hm^2 ,不仅有效控制了吸浆虫的为害,而且改善了麦田生态环境,保护了大量天敌,吸浆虫的主要优势种天敌呈明显上升趋势,寄生率上升到 30%左右,天敌种群数量增加 2~4 倍,收到了显著的经济、社会和生态效益,在国内外尚属首次。

如陕西关小麦区在加强对吸浆虫监测预测的前

提下,以推广‘植陕 229’‘陕麦 897’等抗虫良种为基础,对达到防治指标的田块,在抽穗期用高效、持效、对天敌杀伤性较小的林丹低剂量(60~75 g/hm^2)防治,不仅有效控制了吸浆虫为害,而且减少了用药次数、面积和用药量,最大限度地保护了自然天敌,充分发挥了天敌的自然控制作用,近几年天敌寄生率已由过去年平均 5%稳定在 30%左右。黄淮海麦区在搞好监测预测的同时,对受害严重的田块实行轮作换茬、耕翻土地等农业措施,因地制宜推广种植抗虫良种,改进化学防治技术,大力推广成虫期防治,抓住抽穗 70%~80%这一关键时期施药 1 次,有效地控制了吸浆虫的为害。通过连年防治,示范区土内虫口密度压低到每小方(0.56 m^3)5 头以下。同时穗期应用林丹及其混剂还可兼治白粉病、麦蚜、麦圆蜘蛛 *Penthaleus major* Duges、麦叶蜂 *Dolerus tritici* Chu 和一代黏虫等多种病虫,收到更大的综合效应。在河南、陕西、甘肃等地区推广应用后,已取得显著的经济、社会和生态效益。

2 郭予元院士相关贡献对现阶段小麦主要害虫治理研究与生产实践的影响

21 世纪以来,随着气候变暖、耕作制度变更与设施农业的发展,以及农民在病虫害防治生产实践中过度依赖化学药剂,我国小麦两大主要害虫的发生态势发生了重大变化。一是小麦蚜虫连年呈偏重至大发生,从 20 世纪 70 年代年发生面积 330 多万 hm^2 次左右上升到目前 1 600 多万 hm^2 次,特别是以麦长管蚜为优势种的小麦穗期蚜虫在黄淮海小麦主产区及北方麦区发生尤为严重,全国每年发生面积稳定在 1 500 万 hm^2 次以上,大发生年份可造成小麦减产超过 40%,已位居我国小麦虫害的首位。二是小麦吸浆虫猖獗发生年发生面积 200 多万 hm^2 ,毁产现象频繁出现,发生区域不断向北扩展。小麦两大主要害虫严重威胁着小麦产业的健康发展。因此,麦蚜与吸浆虫一直被列入我国科技攻关、科技支撑计划与重大研发计划的主攻对象。

郭予元院士长期主持农作物病虫害综合防治技术研究工作,先后主持“七五”国家科技攻关“小麦主要病虫害综合防治技术研究”子专题和“八五”国家科技攻关“农作物主要病虫害、农田草鼠害综合防治技术研究”课题。在小麦害虫研究中做出的显著成绩以及在农业昆虫研究中的学术贡献对 21 世纪以

来小麦害虫预测与防控仍具有重要的指导作用。

2.1 郭予元院士学术思想对后续小麦害虫监测与治理的科学理论和方法具有重要指导作用

20世纪90年代,郭予元院士构建了吸浆虫宏观控制策略,创建了小麦吸浆虫综合治理技术体系,即“长期系统监测是防止其再猖獗为害的重要保证;以应用抗虫品种与强化栽培技术为基础,化学防治为重点,结合保护利用自然天敌的综合治理技术体系”,该综合治理策略对新时期仍具有重要的指导作用。研制的吸浆虫土内虫口密度检测抽样技术、小麦对吸浆虫抗性的相对定级标准、吸浆虫成虫期防治及保护小麦敏感生育期扬花灌浆期,以及小麦蚜虫防治指标与防治适期等一直沿用至今,其研究成果已列入了2007年国家农业行业标准-小麦抗病虫害性评价技术规范第8部分:小麦抗吸浆虫评价技术规范(NY/T 1443.8-2007),2009年小麦条锈病、吸浆虫防治技术规范第2部分:小麦吸浆虫(GB/T 24501.2-2009),在小麦主产区推广应用。

21世纪以来的研究和生产实践表明,只有真正落实吸浆虫成虫期防治与穗期保护,才能实现吸浆虫的可防可控。采取穗期保护是郭予元院士对吸浆虫治理的重要突破。“八五”和“九五”科技攻关期间中国农业科学院植物保护研究所小麦虫害研究团队在河南、陕西等地开展了“穗期化学保护”的试验示范工作,并将抽穗70%(含露脸)作为防治关键期,取得了良好成效。

在小麦生产中,小麦吸浆虫在主要发生区不断向北扩展,河北、山东、天津和北京成为新发生区的情况下,由于抽穗70%的防治窗口期过窄(1 d),加上播期和种植品种差别,很难进行统防统治,使得在防治方面倒退到采用吸浆虫蛹期低残留杀虫剂土壤处理,并在成虫出土高峰期喷洒杀虫剂防治成虫的“主攻蛹期、成虫扫残”技术。由于这项工作强度大,成虫发生期预测困难导致虫情反复,故发生面积仍居高不下。为了贯彻穗期保护的指导思想,利用套袋方法检测到小麦单株从抽穗后期到扬花前均为成虫侵害敏感期,扬花以后受害程度急剧下降。这意味着整个抽穗期均为实施穗期保护的防治窗口期。采用穗期套袋的方法在小麦品种抗性鉴定圃中对超过200份感虫品种的抽穗期和受害程度以及相对应的吸浆虫成虫发生期和发生量的关系进行研究,结合气象数据进行分析,表明抽穗期(而不是扬

花期)是吸浆虫侵染敏感期,抽穗期与吸浆虫成虫活动期的匹配性越高,产量损失率越高,受害越重。同时,抽穗期成虫累计发生量与小麦产量损失具有显著的相关性。年度间气候波动改变了成虫发生期与小麦物候期的同步性,从而影响小麦吸浆虫的发生程度。吸浆虫发生区域演变及成灾的生态学机制为“穗期保护”的防治策略制定奠定了科学基础^[35]。生产上从抽穗70%到扬花前的3~5 d内均为穗期保护的适合窗口期,黄淮北部和华北麦区可以延长至7~10 d。因此,郭予元院士提出的小麦吸浆虫穗期保护策略及研究团队后续的技术提升完善为我国小麦统防统治奠定了基础^[36-39]。

自从2014年开始在全国实施这项技术以来,小麦吸浆虫发生面积开始逐年下降,全国农业技术推广服务中心统计2019年发生面积为1986年以来的最低水平(74万hm²)。2020年和2021年全国小麦吸浆虫发生面积为73万hm²和71万hm²,发生区平均虫口密度每小方(0.56 m³)在2头以下,基本实现了小麦吸浆虫可防可控目标,为保障我国小麦安全生产做出了积极贡献。

2.2 对未来小麦害虫研究展望

郭予元院士在小麦主要害虫监测与治理方面创新性的科研理念,就是加强害虫生物学基础研究,高度关注麦田生态系统下自然种群发生规律,重视抗虫品种利用、保护利用麦田天敌、加强栽培措施的生态调控等技术研发与应用,这些为小麦主要害虫治理研究与生产实践指明了方向。

为了更好地传承他在小麦害虫监测与治理和服务生产的学术思想,鉴于目前我国主要小麦生产品种对吸浆虫、麦蚜均为感虫或高感,今后需加强与小麦育种部门及专家合作,将小麦抗虫特征纳入小麦育种评价之中,为抗虫品种的培育提供保障;加快利用吸浆虫、麦蚜基因组测序结果^[40-41],加强其生物学与分子生物学等多组学关联分析,为新一代小麦害虫防控技术研发提供新的功能基因与靶标。目前,我国小麦产区的农民对绿色防控技术的掌握及在生产实践中的应用存在差距,加强小麦害虫关键防治技术集成示范和推广应用任重道远。

参考文献

- [1] 刘育钜,郭予元,李文葡. 麦种蝇的发生和防治方法[Z]//宁夏农科院植保所内部资料,1985,12:1-29.

- [2] 刘育钜,郭予元,李文葡,等. 麦种蝇生活史及其对小麦危害损失的研究[J]. 植物保护学报, 1987(4):241-245.
- [3] 郭予元,刘育钜. 麦种蝇田间分布与取样技术研究[J]. 宁夏农林科技, 1988(4):11-12.
- [4] 杜国忠,郭予元,姜典志. 麦田粘虫自然种群生命表的初步研究[J]. 植物保护, 1986,12(4):12-14.
- [5] 倪汉祥,何连生,程登发,等. 粘虫与天敌关系的研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:104-105.
- [6] 黄葵,倪汉祥,郭予元,等. 麦田一代粘虫自然种群生命表的研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:144.
- [7] 何连生,倪汉祥,李光博,等. 麦田主要害虫及天敌群落的排序研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:147.
- [8] 程登发,郭予元,倪汉祥,等. 麦田一代粘虫测报专家系统研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:150-151.
- [9] 曹雅忠,郭予元,胡毅,等. 麦长管蚜自然种群生命表研究初报[J]. 植物保护学报, 1989,16(4):239-243.
- [10] 陈巨莲,郭予元,倪汉祥. 温度对麦无网长管蚜生长发育及生命参数的影响研究[C]//青年生态学者论丛(二)昆虫生态学研究. 北京:中国科学技术出版社, 1991:336-341.
- [11] 陈巨莲,郭予元,倪汉祥,等. 麦无网长管蚜田间种群动态的研究[J]. 植物保护学报, 1994,21(1):7-13.
- [12] 郭予元,曹雅忠,李世功,等. 麦蚜混合种群对小麦穗期的危害和动态防治指标初步研究[J]. 植物保护, 1988,14(3):2-5.
- [13] 何连生,倪汉祥,李光博,等. 两种麦蚜的生态位分析及防治对策讨论[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编, 1990:146.
- [14] 何连生,李光博,郭予元,等. 麦田主要天敌的生态位测定及其对麦蚜控制能力的研究[C]//全国生物防治学术讨论会论文集, 1991:110-111.
- [15] 童平和,朱希孟,曹雅忠,等. 冬小麦品种抗蚜性田间鉴定研究初报[J]. 作物品种资源, 1991(2):29-30.
- [16] 齐阁瑾,郭予元. 影响小麦吸浆虫发生程度的因子分析[J]. 植物保护, 1987,13(2):24-44.
- [17] 丁红建,齐阁瑾,郭文彬,等. 对小麦吸浆虫土内虫口密度调查方法的改进意见[J]. 病虫测报, 1990(3):43-45.
- [18] 邢克志,郭予元,张治体. 小麦品种对小麦吸浆虫抗性初步分析[J]. 河南农业科学, 1986(9):17-20.
- [19] 郭予元. 用相对定级标准鉴定小麦品种对吸浆虫的抗性[J]. 植物保护, 1989,15(6):33.
- [20] 丁红建,郭予元. 小麦对麦红吸浆虫抗性机制的研究[C]//青年生态学者论丛(二)昆虫生态学研究. 北京:中国科学技术出版社, 1991:326-330.
- [21] 丁红建,郭予元. 麦穗形态学与抗吸浆虫的关系研究[J]. 植物保护学报, 1993,20(1):19-24.
- [22] 丁红建,郭予元. 小麦籽粒内含物及组织学结构与抗吸浆虫关系的研究[J]. 中国农业科学, 1993,26(1):56-62.
- [23] 郭予元. 对小麦吸浆虫防治方法的几点意见[J]. 植保参考, 1990,18(3):6-8.
- [24] 李光博,郭予元. 全国主要粮棉作物病虫害草鼠害综合防治关键技术研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1994.
- [25] 张克斌,郭予元. 小麦吸浆虫[M]//中国农业科学院植物保护研究所,中国植物保护学会. 中国农作物病虫害(第三版,上册). 北京:中国农业出版社, 2015:390-397.
- [26] 倪汉祥,丁红建,郭予元,等. 小麦红吸浆虫种群动态及综合治理技术体系[C]//节能环保和谐发展——2007中国科协年会论文集(三). 2007:582-585.
- [27] 倪汉祥,丁红建,郭予元,等. 小麦红吸浆虫种群动态及综合治理技术体系成果研究回顾与展望[C]//植物保护科技创新与发展——中国植物保护学会 2008 年学术年会论文集. 北京:中国农业科学技术出版社, 2008:57-63.
- [28] 李光博,曾士迈,李振岐. 小麦病虫害鼠害综合治理[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1990:55-82, 83-103, 162-182, 340-360.
- [29] 张广学. 西北农林蚜虫志[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1999:429-433.
- [30] 孙四台,倪汉祥,丁红建,等. 小麦对麦红吸浆虫生化抗性机制的研究[J]. 中国农业科学, 1998,31(2):24-29.
- [31] 丁红建,郭予元. 小麦吸浆虫的研究动态[J]. 世界农业, 1992(5):31-23.
- [32] 钱伟长,石元春. 20 世纪中国知名科学家学术成就概览,农学卷 第四分册-郭予元[M]. 北京:科学出版社, 2013:228-236.
- [33] 陈巨莲. 小麦蚜虫及其防治[M]. 北京:金盾出版社, 2014.
- [34] 戴小枫,郭予元. 农作物病虫害复合经济阈值及其研究方法[C]//青年生态学者论丛(二)昆虫生态学研究. 北京:中国科学技术出版社, 1991:61-68.
- [35] 武予清,段爱菊,张自启,等. 小麦抽穗期与麦红吸浆虫成虫发生期的同步性及其受害程度[J]. 生态学报, 2015, 35(11):3548-3554.
- [36] 武予清,赵文新,蒋月丽,等. 小麦红吸浆虫成虫的黄色粘板监测[J]. 植物保护学报, 2009,36(4):381-382.
- [37] 武予清,苗进,段云,等. 麦红吸浆虫的研究与防治[M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [38] 段云,孙志刚,蒋月丽,等. 呋虫胺防治穗期麦红吸浆虫的田间药效试验[J]. 植物保护, 2016, 42(5):251-253.
- [39] JIANG Xin, ZHANG Qian, QIN Yaoguo, et al. A chromosome-level draft genome of the grain aphid *Sitobion miscanthi* [J]. GigaScience, 2019(8): 1-8.
- [40] GONG Zhongjun, LI Tong, MIAO Jin, et al. A chromosome-level genome assembly of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* Gehin (Diptera: Cecidomyiidae) provides insights into the evolution of a detoxification system [J/OL]. G3: Genes Genomes Genetics, 2022, <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkac161>.

(责任编辑:杨明丽)